

1.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ ФОРМ

Цель лекции: изучение методов моделирования свободных форм.

Помимо традиционных методов проектирования – прежде всего твердотельного и поверхностного моделирования, свое применение для проектирования ряда типовых деталей электронной аппаратуры находят и специальные методы моделирования. Так, одной из составляющих цепочки сквозного проектирования электронной аппаратуры является проектирование корпусных деталей, изготавливаемых из различных конструкционных материалов. Выбор материала обуславливает технологию изготовления корпуса – для пластиковых деталей это, в частности, метод литья под давлением и технологии 3D-печати. Таким образом, на этапе проектирования корпуса требуется обеспечить технологичность конструкции в соответствии с выбранным методом изготовления. Комплексная цифровизация проектирования и производства в рамках концепции «Индустрия 4.0» предусматривает сквозную автоматизацию всего цикла проектирования и подготовки производства изделия, поэтому проектирование и изготовление корпусных деталей также должно подчиняться требованиям данной концепции. Следовательно, начиная с ранних этапов проектирования необходимо обеспечить автоматизацию проектирования таких деталей, увязывая конструкцию корпуса с его наполнением – электронными модулями, элементами индикации, управления, питания, разъемами и пр. и учитывая при этом требования к технологичности конструкции.

Одна из проблем автоматизации проектирования деталей указанного типа заключается в том, что на ранних этапах проектирования в качестве исходных данных, помимо технического задания, может присутствовать лишь весьма обобщенное описание корпуса, выраженное в дизайнерских набросках и эскизах (рис. 1.34). Могут отсутствовать точные пропорции и размеры корпуса, разбиение на отдельные детали, также может быть не сделан окончательный выбор комплектующих деталей, характерных для типового корпуса электронного прибора – разъемов, дисплея, кнопок, переключателей и пр. Исходя из этих соображений, разработка окончательной 3D-модели корпуса может быть сопряжена с трудностями.



Рис. 1.34. Исходные данные – дизайнерские эскизы изделий электронной аппаратуры: портативная радиостанция (а); пульт управления промышленным оборудованием (б)

На предварительных стадиях проектирования решаются такие задачи, как проработка компоновки, разбиение корпуса на отдельные детали с учетом механизмов их соединения, анализ собираемости изделия, отработка конструкторско-технологических решений, например, внедрение элементов жесткости, анализ и выбор элементов дизайна, включая форму и цвет, проработка эргономики изделия. Чтобы решить данные задачи, необходима полноценная 3D-модель прототипа корпуса будущего изделия.

Рассмотрим подход, облегчающий реализацию автоматизированного 3D-проектирования корпусных деталей на ранних стадиях в условиях незавершенного конструкторского замысла, с возможностью внесения изменений в конструкцию на более поздних этапах разработки.

Традиционные подходы к проектированию корпусных деталей из пластика предусматривают применение традиционных параметрических методов проектирования с использованием поверхностного моделирования. Результатом такого проектирования служат модели в граничном представлении (англ. BREP, boundary representation), реализующие точные аналитические формы граней и их сопряжений. Основными достоинствами такого подхода являются строгая параметризация, однозначная и согласованная реакция на вносимые изменения, пригодность к непосредственной передаче модели в технологические модули – например, проектирования пресс-форм для литья под давлением.

Вместе с тем, данному подходу присущ ряд неотъемлемых недостатков, среди которых сложность и продолжительность проектирования независимо от стадии проработки, необходимость наличия законченного конструкторского замысла до начала проектирования, а также высокие требования к навыкам владения САПР конструктором.

Проектирование корпусных деталей электронной аппаратуры на ранних стадиях необходимо осуществлять в условиях незавершенного конструкторского замысла, при этом метод проектирования должен обладать гибкостью, достаточной для внесения незапланированных изменений в конструкцию, а

также устойчивостью к сохранению целостности конструкции при внесении таких изменений, простотой и высокой скоростью работы. Учитывая приведенные выше соображения, в данной работе для решения указанной задачи проектирования корпусных деталей предлагается гибридный подход, сочетающий гибкое проектирование основной формы детали и строгое моделирование точных элементов конструкции.

В качестве метода гибкого проектирования предлагается использовать моделирование свободных форм (Subdivision / Sub-D Modeling), в рамках которого создаваемое трехмерное тело модели окружается настраиваемой многоугольной клеткой, и управление формой тела производится за счет изменения положения вершин и ребер клетки. Клетка может произвольным образом разбиваться на сегменты в целях более точного управления геометрией. Тело при этом создается с помощью набора правил, которые многократно применяются к каждой грани/ребру/вершине многоугольника, создавая тем самым вершины многоугольников следующего уровня и обеспечивая их связность. Наиболее распространенной реализацией данной технологии является платформа Pixar Surface Subdivision с открытым исходным кодом. В данной работе моделирование выполнялось в конструкторской САПР Solid Edge от компании Siemens DI, также данная концепция реализована в САПР NX.

Результатом моделирования свободных форм является вспомогательное фасетное тело, которое возможно преобразовать в рабочее. Результирующая модель впоследствии может быть доработана с применением любого метода проектирования:

- традиционного параметрического/синхронного;
- обратного инжиниринга в целях выделения аналитических поверхностей;
- объединенного (конвергентного) моделирования.

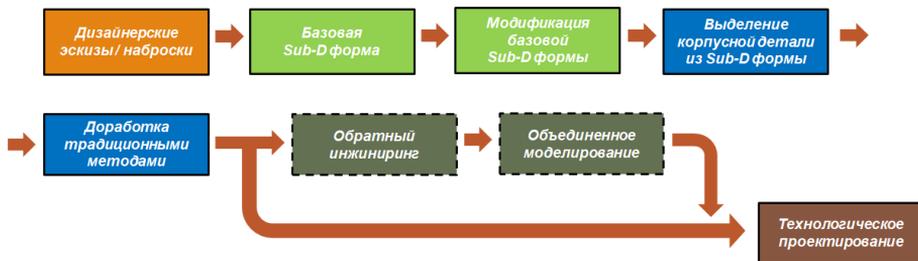


Рис. 1.35. Обобщенная последовательность проектирования корпусной детали с участием моделирования свободных форм

На рис. 1.35 представлена обобщенная последовательность проектирования корпусной детали, заключающаяся в применении моделирования свободных форм на начальном этапе проектирования и дальнейшей модификации модели с участием прочих методов моделирования, среди которых методы

обратного инжиниринга и объединенного моделирования являются опциональными этапами (выделены пунктирной линией).

Рассмотрим основные этапы приведенного выше обобщенного процесса проектирования на примере детали – крышки корпуса пульта управления. Исходными данными для построения является эскизный набросок фронтального вида корпуса (рис. 1.36, а). Процесс построения модели начинается с создания базовой формы, в данном случае – параллелепипеда, при этом размеры соотносятся с размерами эскиза, спроецированного на плоскость построения (рис. 1.36, б). Затем модель масштабируется по одной оси с коэффициентом 1,5 в целях создания расширения верхней части корпуса (рис. 1.36, в). Количество исходных сегментов по каждой оси выбрано равным двум, но это количество может при необходимости настраиваться.

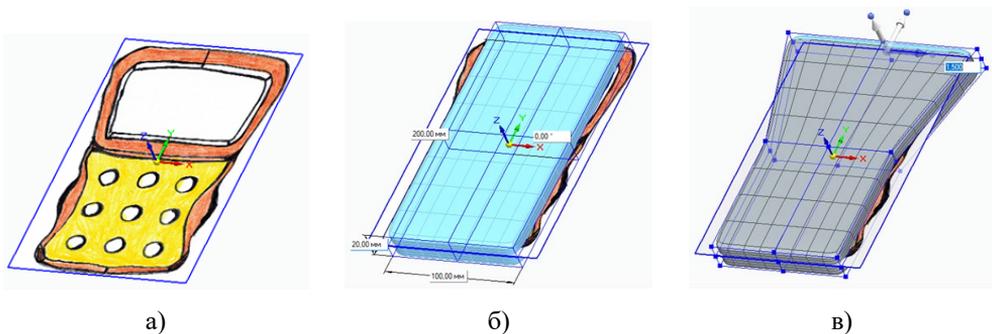
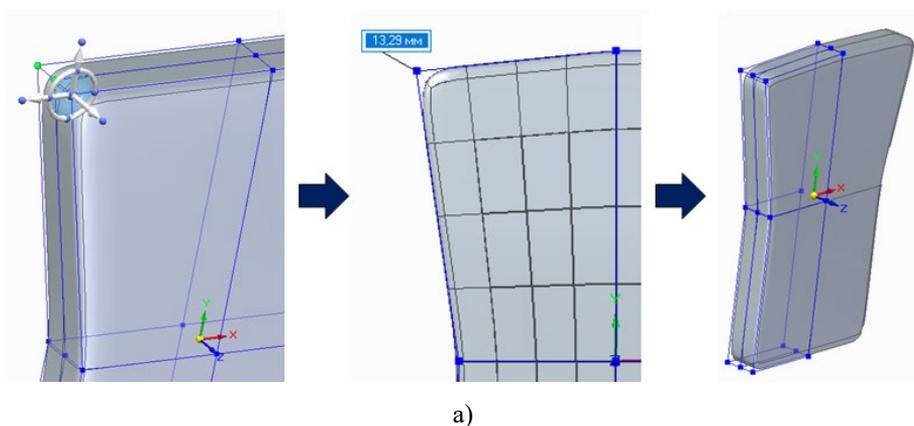


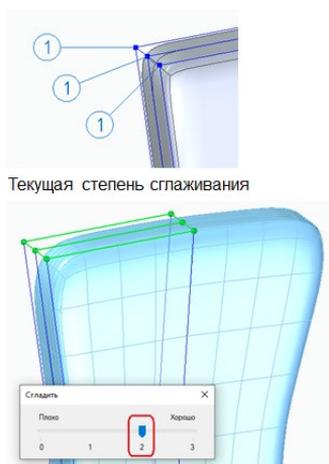
Рис. 1.36. Создание и первичная модификация базовой формы: исходный дизайнерский набросок (а); создание базового параллелепипеда (б); масштабирование базовой формы по одной оси (в)

Основной смысл применения моделирования свободных форм заключается в модификации базовой формы с помощью управления вершинами / ребрами окружающей ее клетки. Так, можно изменять наклон граней, а также изменять относительное значение уровня сглаживания для ребер и вершин (рис. 1.37).

Далее рассмотрим создание эргономичных выступов на боковых сторонах корпуса под хват пальцами. Метод моделирования свободных форм позволяет сначала разбить два сегмента боковой грани клетки на 7 сегментов меньшего размера (рис. 1.38, а) с последующим подъемом (смещением) сегментов в ортогональном направлении с опцией наклона соседних граней (рис. 1.38, б). Полученный результат также подвергается дополнительному сглаживанию вершин и ребер (рис. 1.38, в). Следует отметить, что задействование режима симметрии позволяет выполнять данные манипуляции только на одной из симметричных граней с автоматическим выполнением аналогичных преобразований на второй из них.



а)



Текущая степень сглаживания

б)

Рис. 1.37. Дальнейшая модификация базовой формы с помощью управления вершинами / ребрами окружающей клетки (а) и изменения относительного уровня сглаживания с 1 на 2 (б)

С помощью моделирования свободных форм возможно создавать достаточно сложные элементы – например, буртик вокруг дисплея (рис. 1.39). Данный элемент выполняется разбиением сегментов с одновременным их смещением, управляемым коэффициентом, и дальнейшим подъемом образованных сегментов будущего буртика с опцией поднятия граней.

Внесение изменений в дизайнерский и конструкторский замыслы возможно выполнять непосредственно в процессе проектирования, внося в модель незапланированные изменения. Так, на рис. 1.40 показано изменение формы нижней грани корпуса подстройкой ее под нарисованную эскизную кривую (рис. 1.40, а), а также выполнения проушины с помощью команды «Мостик» по эскизной направляющей с последующим сглаживанием (рис. 1.40, б). Кривая при этом может иметь произвольную форму или быть параметризованной.

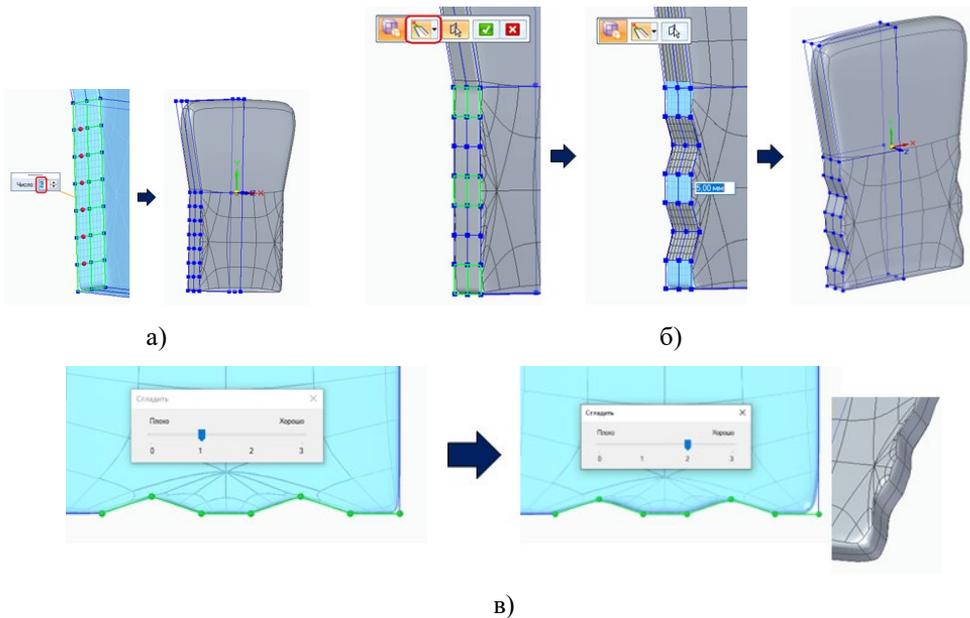


Рис. 1.38. Создание выступов на боковых гранях с помощью разбиения сегментов (а) с последующим их подъемом (б) и изменением относительного уровня сглаживания с 1 на 2 (в)

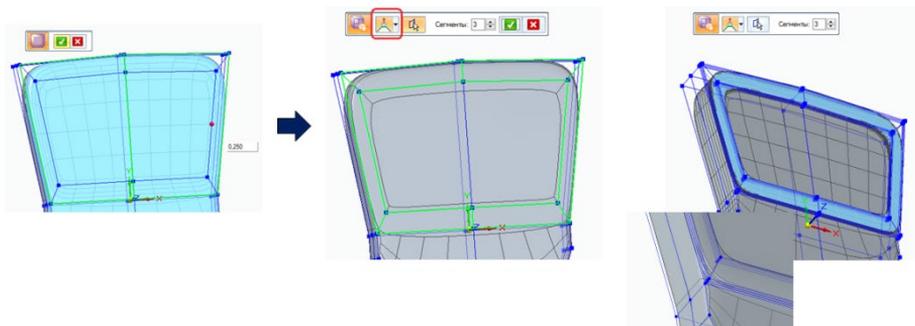


Рис. 1.39. Создание буртика вокруг дисплея с помощью разбиения сегментов со смещением и подъемом

По окончании моделирования методом свободных форм необходимо выделить из полученного фасетного тела оболочку, соответствующую в нашем примере половине (крышке) корпуса (рис. 1.41). Это выполняется с помощью простой булевой операции вычитания из результирующего тела инструмента-параллелепипеда с заведомо большими габаритами, построенного таким образом, чтобы грань параллелепипеда совпадала с плоскостью раздела корпуса на крышку и основание (рис. 1.41, б). Перед данной операцией тело опционально подвергается обработке в модуле поверхностного моделирования с целью пе-

реопределения поверхностей, чтобы удалить образованные кусочные поверхности (рис. 1.41, а). Также можно выполнить цветное выделение граней. Завершает этап выделения корпусной детали формирование тонкостенного тела заданной толщины (рис. 1.41, в).

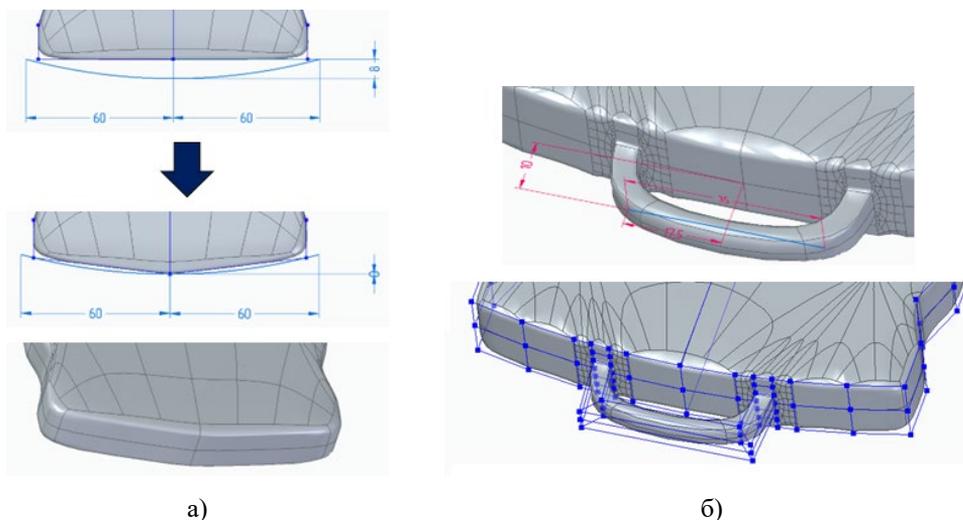


Рис. 1.40. Внесение незапланированных изменений в конструкторский замысел с помощью подстройки формы грани под эскизную кривую (а) и выполнения проушины по эскизной кривой (б)

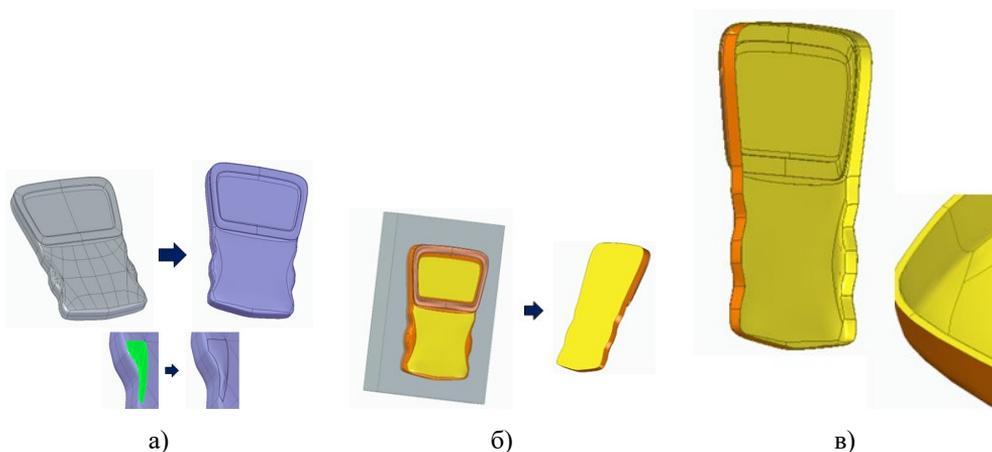


Рис. 1.41. Выделение корпусной детали из тела свободной формы: устранение кусочных поверхностей (а); булева операция вычитания (б); формирование тонкостенного тела (в)

Дальнейшая модификация полученной 3D-модели, как упоминалось выше, может производиться различными методами. Приведем некоторые примеры

применения традиционного инструментария твердотельного параметрического моделирования (рис. 1.42). Так, с помощью команды «Кромка» формируется паз под соединение с ответным выступом основания корпуса (рис. 1.42, а), с помощью команд «Вырез», «Выступ» и «Сетка ребер» создаются элементы оформления дисплея, служащие для его крепления и обеспечения жесткости (рис. 1.42, б), формируется массив опор с подкреплением (рис. 1.42, в), а также массив элементов оформления кнопок (рис. 1.42, г). Следует отметить, что применение подобного инструментария непосредственно после выделения корпусной детали из тела свободных форм не требует дополнительных промежуточных преобразований.

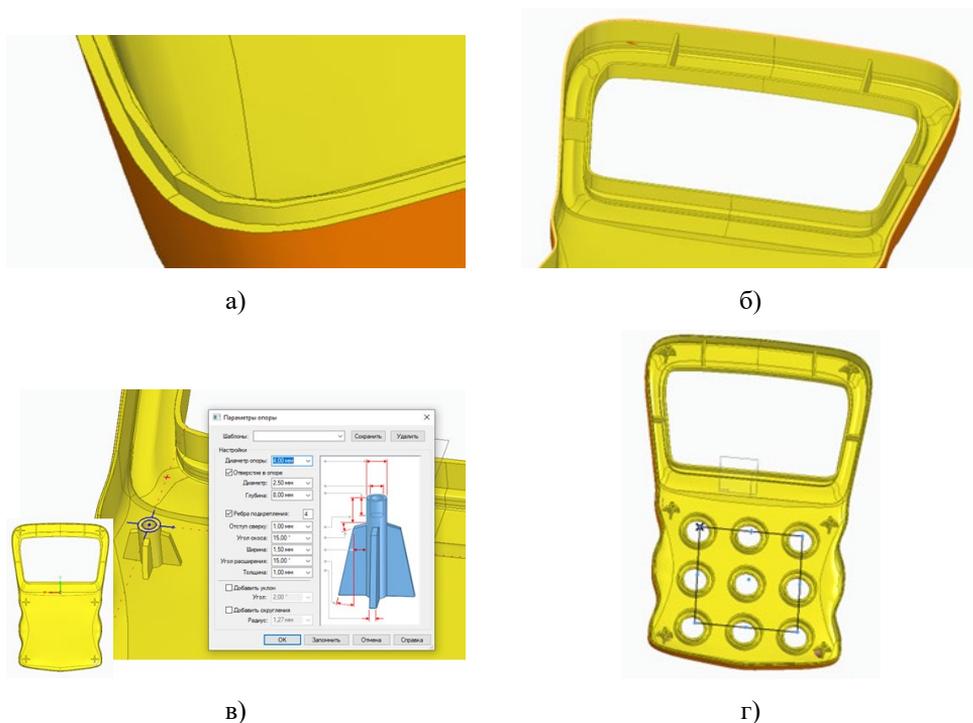


Рис. 1.42. Дальнейшая модификация полученной 3D-модели традиционными методами твердотельного параметрического моделирования: формированием паза (а); создание элементов оформления дисплея (б); формирование массива опор с подкреплением (в); формирование массива элементов оформления кнопок (г)

Окончательный результат моделирования представлен на рис. 1.43. Полученную модель возможно:

- доработать с помощью методов обратного инжиниринга / объединенного моделирования;
- параметризовать / образмерить;
- передать в среду создания чертежей;
- передать в модуль проектирования пресс-форм/электродов;

- передать в модуль подготовки аддитивного производства.

Применение обратного инжиниринга оправдано на завершающих этапах проектирования, когда необходимо извлечь из модели аналитические поверхности, продлить / обрезать их до пересечения, сшить образовавшуюся оболочку и получить полноценное твердое (BREP) тело. Тем не менее, следует отметить, что современные возможности объединенного моделирования позволяют достаточно эффективно работать с фасетной геометрией традиционными методами, универсальными как для твердотельной, так и для фасетной геометрии, поэтому использование обратного инжиниринга, возможно, имеет смысл в ряде случаев ограничить исключительно преобразованием сетки в целях обеспечения лучшей пригодности модели к выполнению расчетов в среде инженерного анализа конструкций.

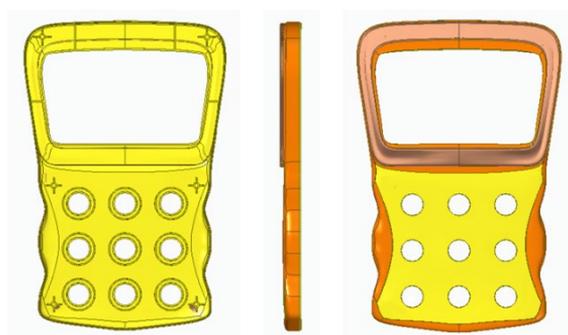


Рис. 1.43. Окончательный результат моделирования

Проанализировав предложенный подход, можно выделить следующие его достоинства:

- упрощение и ускорение процесса проектирования;
- независимость относительно целевого назначения модели;
- возможность свободного управления формой;
- возможность внесения незапланированных изменений в конструкторский замысел;
- доступность традиционных методов моделирования;
- возможность организации сквозной цепочки конструкторско-технологического проектирования.

Среди недостатков подхода можно отметить невозможность прямой параметризации клетки, а также получение результата в виде фасетной модели, которой присущ ряд ограничений в рамках выполнения объединенного моделирования.

Предлагаемый подход позволяет ускорить и упростить процесс моделирования сложных корпусных деталей, давая возможность уточнять конструкторский замысел в процессе проектирования. Дальнейшая обработка модели возможна с помощью традиционных методов проектирования. Подход не привя-

зан к конкретной отрасли и может быть распространен на процессы проектирования деталей с наличием сложных, в том числе дизайнерских, поверхностей. Рекомендуется применять данный подход на предварительных этапах проектирования, при отработке и оценке вариантов конструктивных исполнений деталей.

Тесты к лекции 5

1. В рамках метода моделирования свободных форм конструктор управляет:

- а) поверхностной геометрией модели;
- б) узлами и ребрами клетки, окружающей геометрию модели;
- в) отдельными фасетами в составе геометрии модели.

2. Чтобы эффективно применять метод моделирования свободных форм для проектирования корпусных деталей электронной аппаратуры, необходимо:

а) подготовить дизайнерские эскизы модели, составив из них ортогональные виды;

- б) иметь точные габаритные размеры корпусных деталей с допусками;
- в) никаких специальных приготовлений не требуется.

3. Возможна ли дальнейшая модификация 3D-модели, полученной методом моделирования свободных форм, традиционными методами твердотельного параметрического моделирования?

- а) да, при помощи методов поверхностного моделирования;
- б) да, при помощи сочетания методов поверхностного и твердотельного моделирования;
- в) да, при помощи сочетания методов поверхностного и твердотельного моделирования, в том числе командами проектирования деталей из пластика.

4. Возможно ли изготовить пресс-форму под деталь, смоделированную методом свободных форм?

- а) да, возможно;
- б) нет, невозможно;
- в) да, возможно, но после преобразования в BREP-модель.

5. Окончательный результат моделирования свободных форм возможно (Выберите один или больше правильных ответов.):

- а) передать в среду создания чертежей;
- б) доработать с помощью методов обратного инжиниринга / объединенного моделирования;
- в) параметризовать / образмерить.